

山东 1736 年来逐季降水重建及其初步分析*

郑景云 郝志新 葛全胜

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要 基于清代雨雪档案记载及现代农业气象与气象观测记录, 根据降水入渗的土壤物理学模型与水量平衡模型, 恢复了山东济南、泰安、潍坊、菏泽、临沂等 5 个地区 1736~1910 年逐季降水量, 建立了各站 1736~2000 年的逐季降水序列。初步分析结果表明, 山东各站间的季节降水变化具有较高的相关性与一致性。1761~1770 年、1781~1790 年、1791~1800 年、1801~1810 年、1981~1990 年等 5 个年代的降水明显偏少, 1861~1870 年、1871~1880 年、1881~1890 年、1901~1910 年等 4 个年代则明显偏多。其变化总趋势可概括为: 18 世纪中前期, 山东降水相对较多; 18 世纪中期起进入少雨期; 19 世纪中后期转为多雨期; 19 世纪末至 20 世纪初, 降水明显减少, 再次进入相对少雨期; 20 世纪 60 年代中期以后, 降水又一次降至较低水平。1990 年起, 山东降水有所回升, 重新进入了相对多雨期。

关键词: 山东; 清代雨雪档案; 逐季降水; 定量重建; 序列分析

文章编号 1006-9585 (2004) 04-0551-16 **中图分类号** P532 **文献标识码** A

1 引言

高分辨率的历史气候要素序列重建, 对于认识气候变化规律, 改进气候模式从而增加气候预测的准确性, 以及辨识人类活动对气候变化影响等方面的研究都具有极为重要的意义^[1,2]。中国拥有丰富、连续的历史文献记载, 在重建高分辨率气候要素变化序列研究方面具有巨大的潜力^[3,4]。自 20 世纪 70 年代以来, 中国学者利用中国历史文献重建的中国 120 个站过去 500 年的旱涝变化^[5], 及中国 45 个地区过去 2000 年旱涝变化^[6]等历史气候变化序列, 不但在中国学术界产生了巨大影响, 而且也被国际学术界广泛引用。

在我国所拥有的各种历史文献记载中, 清代雨雪档案记载起自康熙三十二年 (公元 1693 年), 止于宣统三年 (公元 1911 年), 覆盖了清代 18 个行省的 268 个府, 其中乾隆元年 (1736 年) 以后的记载更为详细系统。它们包括定性资料 (对某次降水过程, 或阶段性乃至全年降水过程的文字描述) 和定量资料 (每次降雪的积雪厚度与每次降雨渗入土壤的深度, 以尺寸表示, 通常称“雨雪分寸”) 两种, 是重建我国高分辨率降水最可靠的资料之一^[7,8]。然而, 由于资料摘抄及其整理的工作量巨大, 目前它们还基本未被应用到历史降水重建工作中, 其价值亦未得到充分的体现。

本文拟以清代雨雪档案记载为基础, 结合现代农业气象与气象观测记录, 根据降

2003-03-19 收到, 2003-05-14 收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49901001 及中国科学院 KZCX3-SW-321、KZCX2-314 项目资助

水入渗的土壤物理学模型与水量平衡模型,定量恢复山东济南、潍坊、泰安、菏泽、临沂等5个地区1736~1910年逐季降水量,建立各站1736~2000年的逐季降水序列。其目的是要为利用清代雨雪档案记载进行大范围的高分辨率降水序列重建探索一个可行的方法,同时分析该地区历史时期的降水变化规律。因而它对于进一步开发利用中国历史文献资料进行全球变化研究具有非常重要的意义。

在我国,以往的降水变化代用序列重建主要使用旱涝等级法(即依据一地或临近地区的旱涝灾情描述确定旱涝等级)^[5,6]、旱涝比值法(即依据一个地区某一时段内旱涝记载条数或年数之比确定旱涝状况)^[9]、旱涝县次法(即依据一个地区旱和涝县次的多少确定旱涝状况)^[10]及早涝标准差定级法^[11](即结合降水器测记录,应用标准差5级旱涝指标确定一地的旱涝及其强度)等。与旱涝记载相比,雨雪分寸不但具有定量(大部分降水过程都有具体的量值记载)和高分辨率(时间分辨率最高可以达到每次降水过程,空间分辨率一般为府,少部分记载可以达到县)的优点,而且利用雨雪分寸资料还可以直接恢复出降水的绝对数量,从而可以更好地进行气候变化空间差异比较。

2 研究区域与资料简介

山东地处温带半湿润地区,降水季节性强,变率大,旱涝灾害频繁。近来,由于社会经济的快速发展,使得这里本已短缺的水资源变得更为紧张。因而研究该地区降水的长期变化规律及其趋势,对于这一地区今后的水资源利用与社会经济发展具有重要的参考价值。虽然这一地区的历史气候重建已有较好的基础,如逐季旱涝指数序列^[12]、5~8月的湿润指数序列^[13]、年代际的冷暖变化序列^[14]都已被重建,但定量的降水序列重建工作至今未见。

本文所采用的资料包括历史资料和现代器测气象记录及土壤含水量观测记录3个部分。其中历史资料为摘自中国第一历史档案馆的清代雨雪档案记载,其起讫时间为1736~1911年,共176年;但1751、1752、1778、1779、1783、1789、1837、1838、1839、1845、1852、1860、1864、1870、1871、1874、1909年等17年的记载不完整;空间范围为山东全省,共含10府3直隶州,一般记录各府、州的平均状况。考虑到在降水重建时,必须使用现代农业气象常规观测资料,为使之相衔接,这里选择济南、泰安、曹州、沂州、青州和今潍坊地区(大致与青州府和莱州府相当)进行降水重建,并用各府府治或地区如今中心城镇的地名表示(图1)。现代器测气象记录包括上述5站1951~2001年的月降水观测资料及烟台、青岛与济南等3站的自有气象观测以来的逐月降水观测资料。土壤含水量观测数据,为上述5地农业气象站自建站以来的常规农业气象观测数据,其中泰安站记录较长(始于1987年),其他各站记录起自1994年。

3 降水重建的方法与过程

3.1 雨雪档案记载的量化处理

清代雨雪档案记载内容包括各地的雨雪、收成、粮价、屯垦耕作、水文与水利、

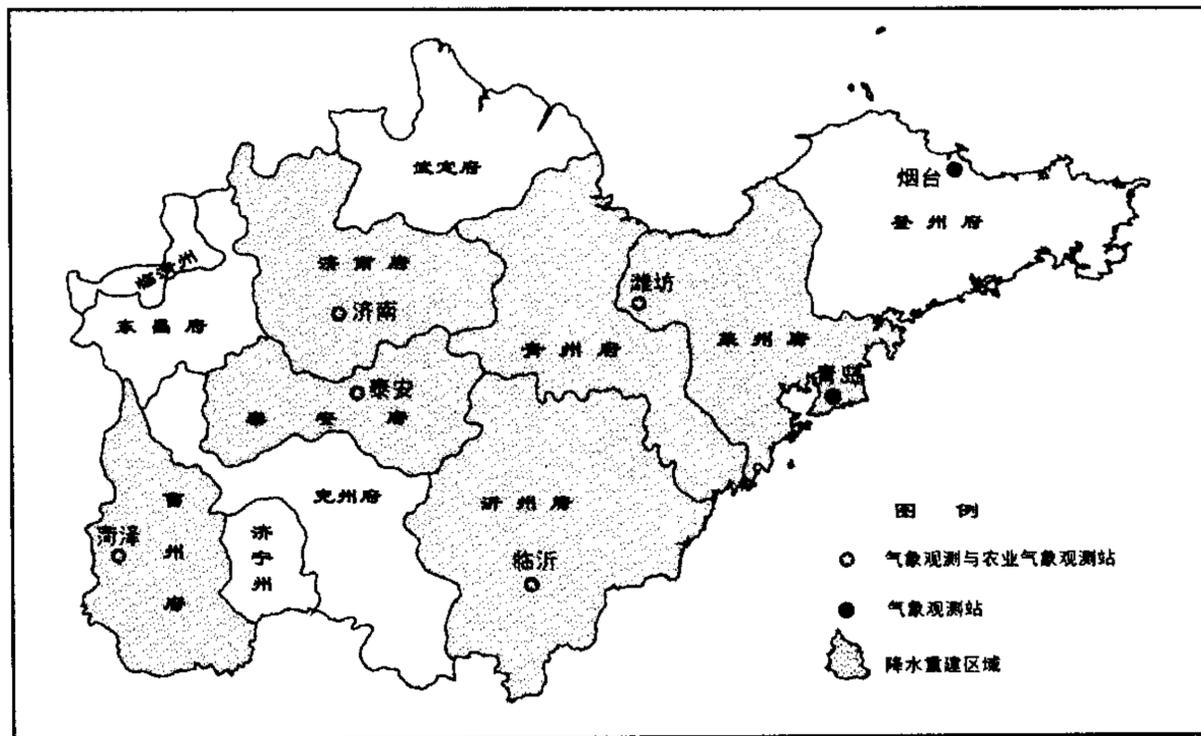


图 1 研究区域示意图

自然灾害及自然现象、天文地理等内容，其中以雨雪、收成、粮价为主，由清代各地政府官员以奏折形式向皇帝奏报。奏报人除总督、巡抚、布政使、按察使及重要地区的知府外，还有各地的盐政、学政、织造、总兵、河道等。从总体看，雨雪档案记载按记录的量化程度可分为定量记录和定性描述两种，其中定量记录一般记载各府所属县逐次降水的时间与降雪厚度（图 2a）或降雨在农田的人渗深度（图 2b），定性记录一般为对某次降水过程或某一个阶段（如一个月或一个季节等）降水状况的总体评估（图 2c）。据统计，山东定量记录约占全部记录的 80%。

在进行雨雪记载的量化处理时，我们分 3 种状况进行统计。一是对仅有定量记录的降水过程，直接统计该次降水的雨、雪寸数。二是对既有定量记录又有定性描述的降水过程，除按定量记录直接统计外，还参考定性描述，以订正偶尔出现的错记现象。三是对仅有定性描述的降水过程或时段，则以文字描述的雨量状况将其折算成雨雪寸数。如记录某次降水“深透”、“透足”，则折算为 7 寸；“极其深透”、“极为透足”等则折算为 8 寸；如记录某一时段“雨水调匀”、“雨暘时若”、“瑞雪均沾”等，则折算为该时段的平均雨雪寸数；如记录某一时段“连（叠）降大雨（雪）、连得雨（雪）泽、极为沾足（深透、优渥）”等，则折算成该时段雨雪寸数平均值的 150%；如记录某一时段“雨泽稀少、晴多雨少”等，则折算为该时段雨雪寸数平均值的 50%；如记录某一时段“连晴不雨、连日晴霁、望泽甚殷”等，则作为无雨处理。其中对于一些跨月出现的降水过程，则在确定该次降水的雨雪寸数后，按降水过程的持续日数平均分配到相应的月份。当然这样的折算肯定会对序列的重建结果产生一定的影响，但由于山东的定性记录仅约占全部记录的 20%，因而因这种折算而造成的误差并不会影响整体重建结果。

3.2 降水重建的思路与方法

为确定清代降水重建方法，必须首先明确雨雪档案记载中定量记录（即“雨雪分寸”）的观测方法及其物理学含义。雨雪分寸包括降雨观测（即“雨分寸”）和降雪观测（即“雪分寸”）2 个部分。其中雨分寸观测方法是指在发生一次降雨过程之后，选



图 2 山东雨雪档案记载示例

(a) 雪定量记录清单；(b) 雨定量记录清单；(c) 阶段降水定性描述内容 (仅摘录部分)

标点为作者所加，括号中日期为换算的阳历日期

择一块地势较为平坦的农田向下掘土，当看到有明显的干湿交界层时停止，测量此时的深度即为雨分寸，以清代的“寸”与“分”作为计量单位；从土壤物理学角度看，雨分寸与降水入渗模型中的湿润锋位置一致。雪分寸的观测方法则是在降雪停止时，直接量测每次降雪的积雪深度，同样以清代的“寸”与“分”作为计量单位；它与现代气象观测的积雪深度一致。下面分别阐述利用雨雪分寸进行降雨量和降雪量重建的思路、方法、具体算法及有关参数的确定依据。

3.2.1 降雨量重建

据水量平衡基本原理，每次降雨的水量平衡方程可表达为

$$P_r = R + E + F, \quad (1)$$

式中， P_r 、 R 、 E 、 F 分别为降雨量、径流量、蒸发量和入渗量。由于在降雨过程中，空气湿度大，蒸发量极小，因而可被忽略不计。所以对每次降雨过程而言，降雨量近似等于入渗量和径流量之和，即

$$P_r \approx R + F. \quad (2)$$

(1) 逐次降雨入渗量的计算

土壤物理学的 Green-Ampt 入渗模型认为^[15]：在降雨入渗时，入渗量及入渗深度主要受土壤特性及前期土壤含水量的直接影响。入渗量：

$$F = (\theta_s - \theta_i) \times \rho \times Z_i, \quad (3)$$

其中 θ_s 为土壤饱和含水量， θ_i 为前期土壤含水量， ρ 为土壤容重， Z_i 为入渗深度，在本研究中即为雨分寸值。

(2) 计算入渗量有关参数的确定

由于一个地区的土壤质地在本研究时段内变化不大，因而可以假定在此时段内，其土壤物理特性参数（包括饱和含水量、田间持水量、土壤容重等）也变化不大。为此，在进行历史时期入渗量恢复计算时，历史时期的土壤物理特性参数可以用现代农业气象站的观测数值来代替（表 1）。然而由于土壤含水量受降水变化的影响，因而它也存在明显的变化。为此，这里采用分级的方法对其进行量化处理。具体的做法是：首先以月逐次降雨入渗深度的累积值（即雨分寸的月总量）为依据，以 15%、20%、30%、20%、15% 的分布频率标准，将 1736~1911 年各月的土壤湿润状况分为 5 级。其中，1 级表示该月土壤湿润，即土壤含水量多；5 级表示土壤干燥，即土壤含水量少；3 级表示该月的土壤湿润状况与其多年平均值相当，2 级和 4 级分别表示偏湿和偏干。然后统计各农业气象观测站点自建站以来的各月土壤含水量的观测数值，以同样的分布频率标准将月土壤含水量分为 5 级，按 0~20 cm 及 20~50 cm 两层计算各月各个级别土壤含水量平均值，作为计算 1736~1911 年该月逐次降雨入渗量的前期土壤含水量。以泰安农业气象站为例，其 0~20 cm 土层自建站至 1999 年（1988 年和 1994 年缺测）各年逐月的土壤含水量变化及土壤含水量的多年平均变化如图 3，而按上述分布频率标准分级后的各级土壤含水量变化如图 4a。需要说明的是由于山东大部分地区的耕作层（特别是表层）土壤在冬季（12~2 月）存在明显的封冻期，其间大多数站点在冬季（特别是 12 月下旬至 2 月上旬）不进行土壤含水量观测。由于在此 3 个月间，土壤含水量的变化不大，故将其作为一个时段来处理。同时由于山东的冬季降水主要以降雪为主，降水出现的几率较少，且入渗深度一般不超过 20 cm，故其深层土壤的冬季

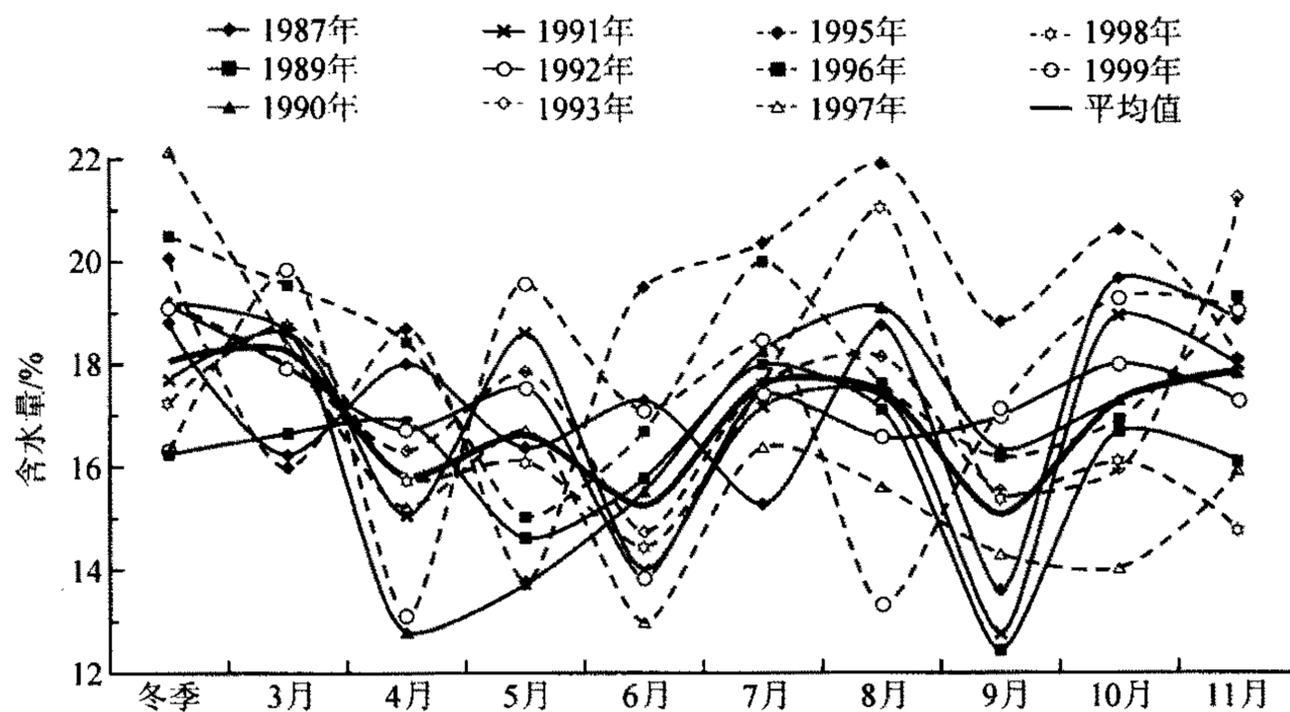


图3 1987~1999年泰安0~20 cm土层土壤含水量的年变化

表1 用于入渗量恢复的各站点土壤物理参数

	土层/cm	泰安	济南	临沂	菏泽	潍坊
土壤容重/ g cm^{-1}	0~20	1.37	1.45	1.43	1.34	1.41
	20~50	1.52	1.35	1.43	1.56	1.45
田间持水量/%	0~20	20.4	22.4	21.0	25.9	20.1
	20~50	22.6	23.8	24.0	23.5	19.8
饱和含水量*/%	0~20	29.1	32.0	30.0	37.0	28.7
	20~50	32.3	34.0	34.3	33.6	28.3

* 由于我国目前大多数农业气象站不进行饱和含水量观测，因此其数值一般是根据田间持水量换算得到的。沙壤质地的土壤类型，其田间持水量为饱和含水量的70%。

含水量不予计算。

至此，利用(3)式便可计算出逐次降雨的入渗量；再按月统计，便可计算出逐月降水的入渗量。

(3) 月降雨量的计算

据陆地水文学的基本原理，对一个固定的时段而言，降雨量与入渗量之间存在以下关系：

$$F = \beta P_r, \quad (4)$$

由此可得降雨量：

$$P_r = F/\beta, \quad (5)$$

式中， P_r 为月降雨量； F 为月入渗量（已在上一步计算中获得）； β 为入渗系数，它与降雨强度和土壤质地有关，其大小可以通过实验获得。据有关实验表明^[16]：在大多数沙壤地区的雨季，降雨强度 p 与入渗系数存在如下关系：

$$p \leq 0.5 \text{ mm min}^{-1}, \quad \beta = 0.84;$$

$$1.0 \text{ mm min}^{-1} \geq p > 0.5 \text{ mm min}^{-1}, \quad \beta = 0.72;$$

$$p > 1.0 \text{ mm min}^{-1}, \quad \beta = 0.46.$$

而这些降雨强度基本与这一地区自然降雨的中小雨、大雨和暴雨相对应。为确定这一

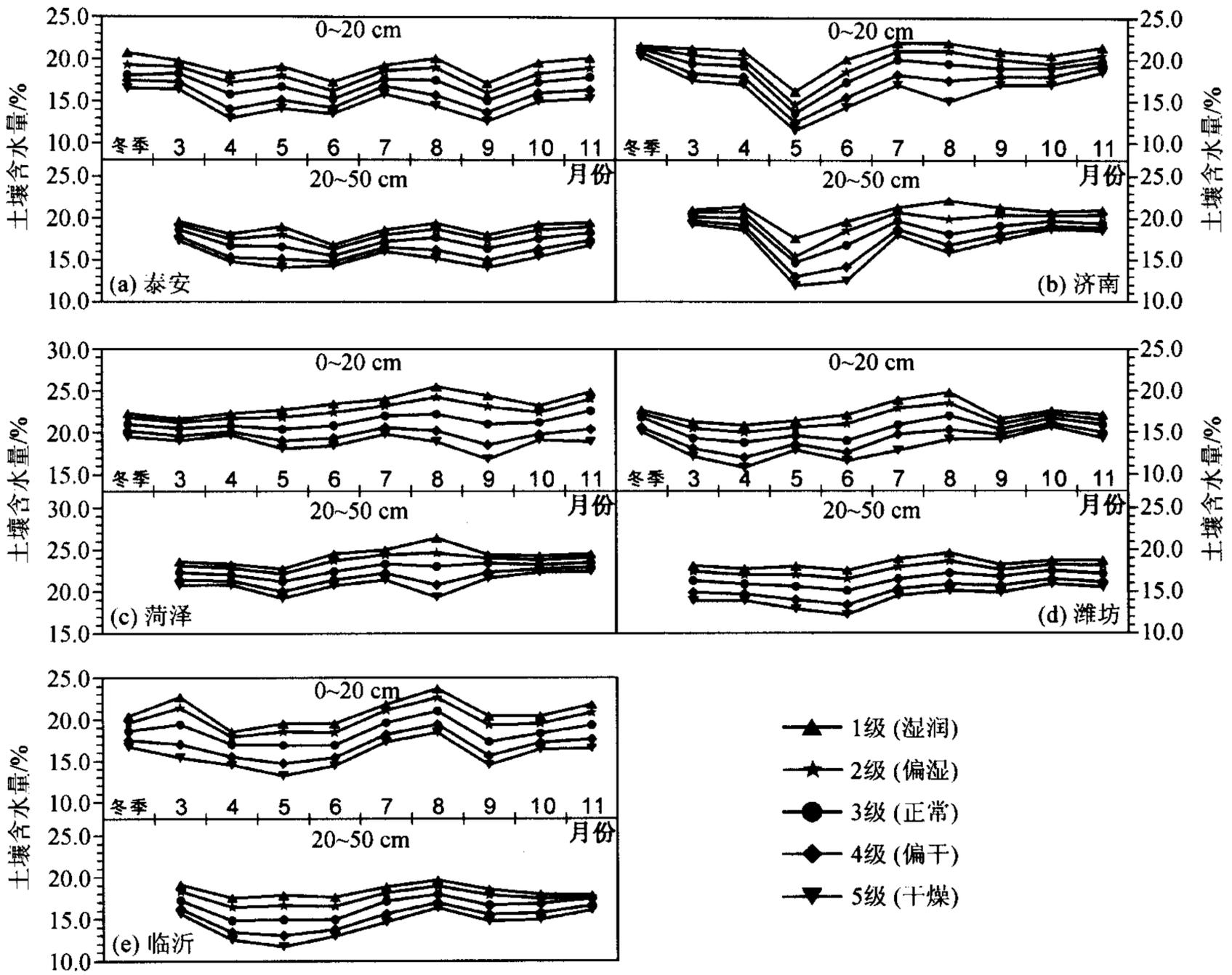


图 4 山东分层各级土壤含水量的年变化
 (a) 泰安; (b) 济南; (c) 菏泽; (d) 潍坊; (e) 临沂

地区雨季的自然降雨强度，我们对上述 5 站 1981~2000 年的雨季（6~9 月）逐日降水资料进行了分析，结果表明：从平均状况看，在 6 月和 9 月，降雨以小、中、大雨为主，而在 7 月和 8 月，则以中、大、暴雨为主（图 5）。然而由于这一地区降水的年际变率较大，因而，降水强度的年际变化也较大。总结起来月降水量与各种降水强度之间存在以下关系（图 6）：（1）在 6 月和 9 月，当月降雨量 ≤ 50 mm 时，降雨主要为小雨，其次为中雨；当 $50 \text{ mm} < \text{月降水量} \leq 130$ mm 时，小、中雨与大、暴雨所占比例基本相同；当月降水量 > 130 mm 时，降雨则以中、大、暴雨为主，小雨和大暴雨所占比例较小（图 6a）。（2）在 7 月，当月降雨量 ≤ 110 mm 时，降雨以小、中、大雨为主，其中中雨比例最高；当 $110 \text{ mm} < \text{月降水量} \leq 250$ mm 时，降雨以中、大、暴雨为主，其中大雨比例最高；当月降水量 > 250 mm 时，降雨则以暴雨为主，然后依次分别为大雨、中雨、大暴雨和小雨（图 6b）。（3）在 8 月，当月降雨量 ≤ 100 mm 时，降雨以小、中、大雨为主，其中中雨比例最高；当 $100 \text{ mm} < \text{月降水量} \leq 190$ mm 时，降雨以中、大、暴雨为主，且三者比例基本相同；当月降水量 > 190 mm 时，降雨则以暴雨为主，然后依次分别为大雨、大暴雨、中雨和小雨（图 6c）。据此，我们以各站 6~9 月降雨量所对应的月入渗总量数值大小为依据，确定各站的人渗系数 β ，具体数值见表 2。

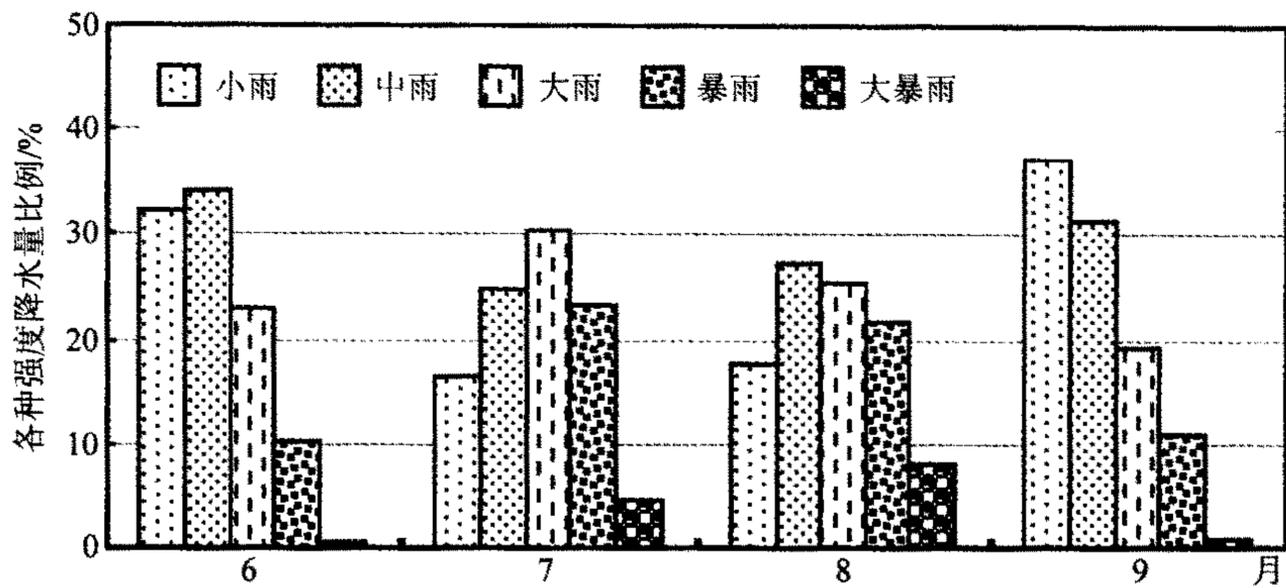


图5 山东雨季各月各种强度降水比例

表2 用于山东雨季(6~9月)降水量恢复的入渗系数

月份	月降水量/月入渗量/入渗系数			月降水量/月入渗量/入渗系数			月降水量/月入渗量/入渗系数		
	mm	mm	入渗系数	mm	mm	入渗系数	mm	mm	入渗系数
6、9	≤50	≤50	1.0	50~130	50~100	0.84	>130	>100	0.72
7	≤110	≤85	0.84	110~250	85~145	0.72	>250	>145	0.46
8	≤100	≤80	0.84	100~190	80~110	0.72	>190	>110	0.46

当然还需要说明的是,山东在非雨季降雨强度一般都很小,因而其降雨基本是全部入渗的,即 β 近似等于1.0。

3.2.2 降雪量的计算

由于雨雪档案中雪分寸的记载与现代气象观测的积雪深度一致,因而可直接利用现代降雪量与积雪深度之间的转换关系进行降雪量计算,其关系式为

$$P_s = H_s \times \rho_s, \quad (6)$$

式中, P_s 为降雪量; H_s 为每次降雪的积雪深度,即雪分寸; ρ_s 为雪密度。对山东济南1951~2000年的统计分析表明: ρ_s 为 0.10 g cm^{-3} 。这与谭冠日等^[17]早期的研究认为在我国的华北地区, ρ_s 为 $0.12 \sim 0.13 \text{ g cm}^{-3}$ 基本一致。因此,本文在计算山东5站的降雪量时, ρ_s 均取 0.10 g cm^{-3} 。

据3.2.1与3.2.2节的计算方法与参数,便可得到各站各月的降雨与降雪量,将它们合并统计,便可重建出各站的逐季及逐年降水量。需要说明的是,虽然本文重建的降水以月为最小分辨单位,但考虑到原始资料中有少部分定性资料描述是跨月记录的,故这里仍以季为最小分辨单位进行降水统计。

3.2.3 缺值的插补

由于山东1751年等17年的清代雨雪档案记载内容不完整,为保持序列的完整性,这里以文献[12]所重建的逐季旱涝指数为基础,根据该文所提供的降水与旱涝指数之间的关系式将逐季旱涝指数换算为逐季降水量,对逐季降水序列进行插补。

3.2.4 重建结果与其他资料的对比分析

(1) 与器测降水的对比分析

在20世纪之前,山东有2个气象观测站,其中烟台站降水观测始于1886年的6月,青岛站的降水观测始于1898年的7月。由于这2个站并不是本文重建的站点,因

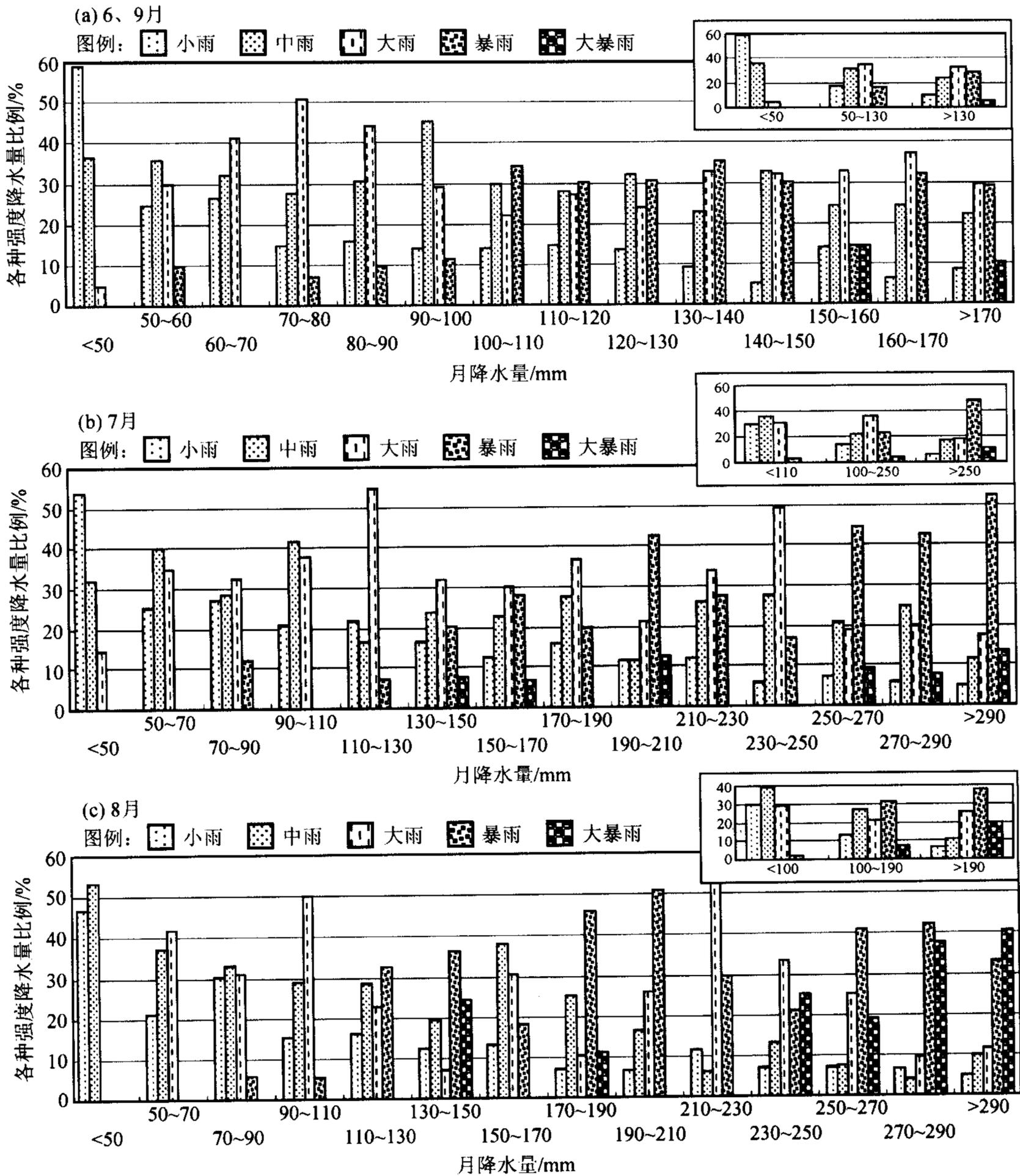


图 6 山东雨季各月降水量与各种降水强度之间的关系
(a) 6、9月; (b) 7月; (c) 8月

此我们不能将重建结果与器测降水进行直接比较。但 1951~2000 年的器测降水资料相关分析表明：潍坊和烟台、临沂和青岛间的年降水变化同步性较好（其中潍坊和烟台相关系数为 0.54，临沂和青岛 0.51），为此我们这里分别计算潍坊和烟台、临沂和青岛的降水重建结果与器测降水重叠时段的年降水相关系数，以观察重建结果与器测降水是否具有较好的同步性。计算结果表明：潍坊与烟台 1888~1910 年（其中 1887、1893、1894 和 1906 年因有部分月份器测资料缺失而没有使用）的年降水相关系数为 0.53，与 1951~2000 年的相关系数基本相当。而临沂和青岛 1899~1910 年的年降水

相关系数为 0.57, 较 1951~2000 年的相关系数还略高一些。这说明本文的重建结果具有相当的可靠性。

(2) 与旱涝等级及旱涝指数的对比分析

旱涝等级与旱涝指数序列主要是利用以地方志为主要来源的历史记载重建的。其中旱涝等级序列主要依据一地或临近地区旱涝灾情的描述确定。当一个地区不同季节的灾情记载出现矛盾时, 主要依据夏季的灾情描述定级; 当同一地区不同地点的记载出现矛盾时, 则以占多数的描述情况定级^[5]。而旱涝指数序列的重建则包括 3 个步骤, 即先根据一地的旱涝灾情描述确定旱涝等级; 然后根据旱涝灾情描述详略程度与记载条数多少, 灾情发生地点与记载地点的远近, 灾情发生时间与记载时间间隔的长短, 确定记载可靠性指数和当地降水可信度 (以排除客水过境而引起的涝灾); 在此基础上, 根据可靠性指数和当地降水可信度的大小对旱涝等级进行加权平均而得出旱涝指数值^[12]。将本文重建的降水量与旱涝等级和旱涝指数直接对比可以看出: 降水量变化与旱涝等级和旱涝指数之间的关系以夏季最好。以济南为例, 1736~1910 年旱涝等级 (资料取自文献 [5]) 与年降水量之间的相关系数为 -0.20 (通过信度 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验, 因旱涝等级与旱涝指数一般用小数值代表涝, 用大数值代表旱, 故相关系数为负值), 而与夏季降水量达 -0.24 (通过信度 $\alpha=0.02$ 的显著性水平检验)。旱涝指数 (资料取自文献 [12]) 与年降水量之间的相关系数为 -0.20 (通过信度 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验), 而与夏季降水量则达 -0.29 (通过信度 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验)。若将重建降水量进一步按上述方法分别处理为年旱涝等级 (即在确定年旱涝等级时以夏季为主, 但由于这一地区春、秋 2 季干旱发生频率极高, 因而在定级时也适当参考春、秋 2 季的旱涝等级) 和年旱涝指数 (即 $I_D=5.5-2.5R/R_m$, I_D 为旱涝指数, R 为逐年降水量, R_m 为年降水量的序列平均值) 后, 再与旱涝等级和旱涝指数进行比较。结果表明: 二者旱涝等级完全一致的年份为 96 年, 相差 1 级的年份为 51 年, 累计占总年数的 84%; 相差 2 级或 2 级以上的年份仅占 16%。二者年旱涝指数相差在 0.5 以内 (相当于旱涝等级一致) 的年份为 105 年, 相差 0.5~1.5 (相当于旱涝等级相差 1 级) 的年份为 62 年, 累计占总年数的 95.4%; 相差达 1.5 以上的仅占 4.6%。这说明: 本文的降水重建结果与旱涝等级和旱涝指数之间也存在较好的可比性。

4 重建结果初步分析

图 7 给出济南、泰安、潍坊、菏泽、临沂等 5 个站点及其均值 1736~1910 年的四季与年降水量重建结果。需要说明的是: 这里的冬季指当年的 12 月至次年的 2 月, 而年则指当年 3 月至次年 2 月。为便于与器测时期的降水变化进行比较分析, 图 7 同时给出各站器测时期 (济南 1916~2000 年, 其他 1951~2000 年) 的降水量, 并给出各站当前的气候平均值 (1961~1990 年平均值)。由于济南站的重建降水序列与器测降水之间仅 1911~1915 年缺值, 为保持其完整性, 这里也采用 2.2.3 的插补方法对其进行插补。

4.1 历史时期与器测时期冬季降水量的差异分析

从图 7 可以看出, 山东各站历史时期 (1736~1910 年) 的冬季降水量明显地较器

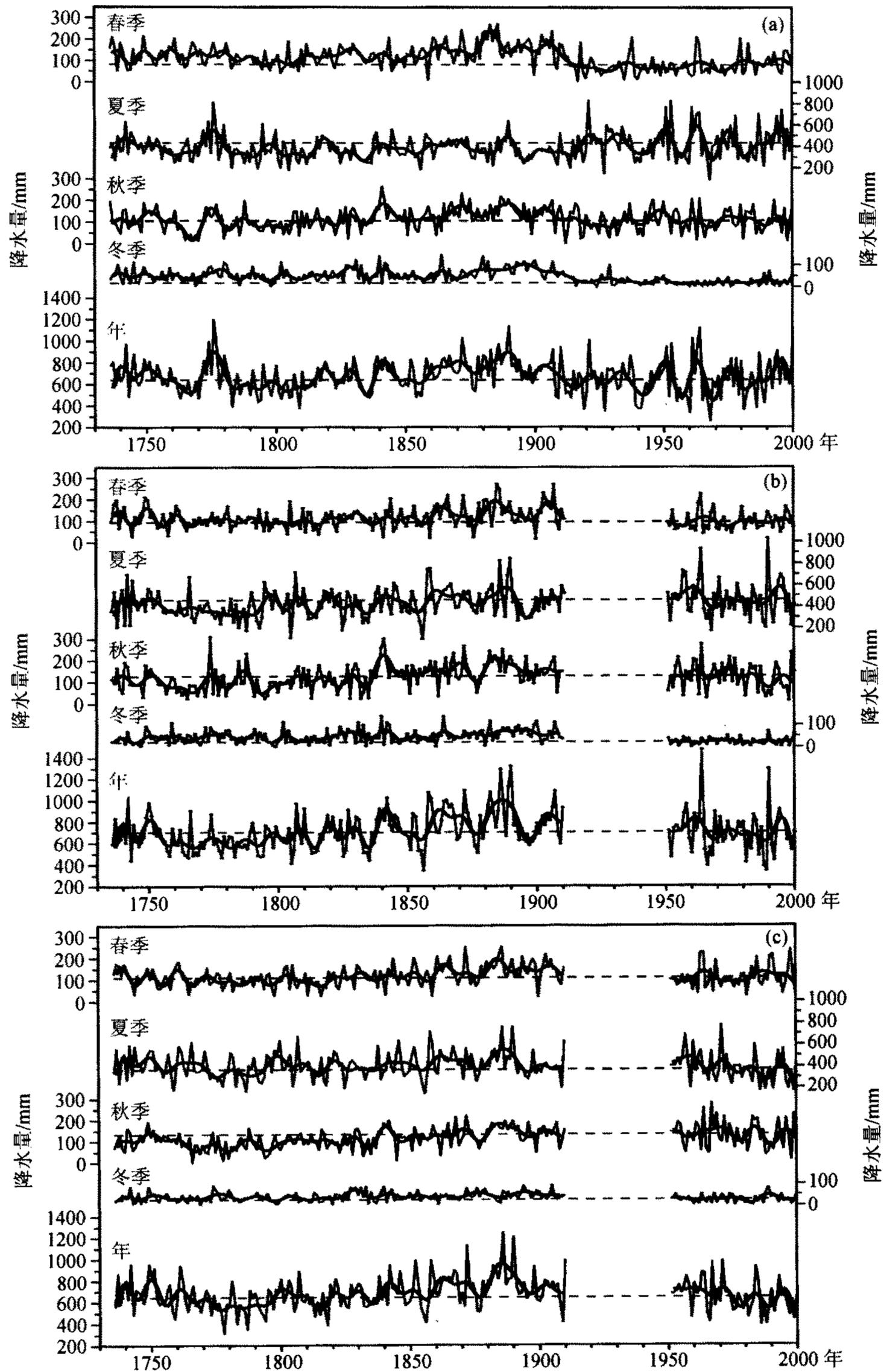


图 7 山东省 1736 年以来的逐季降水序列

(a) 济南; (b) 泰安; (c) 潍坊; (d) 菏泽; (e) 临沂; (f) 5 站平均状况
细实线: 降水量, 粗实线: 10 年低通滤波, 虚线: 1961~1990 年均值

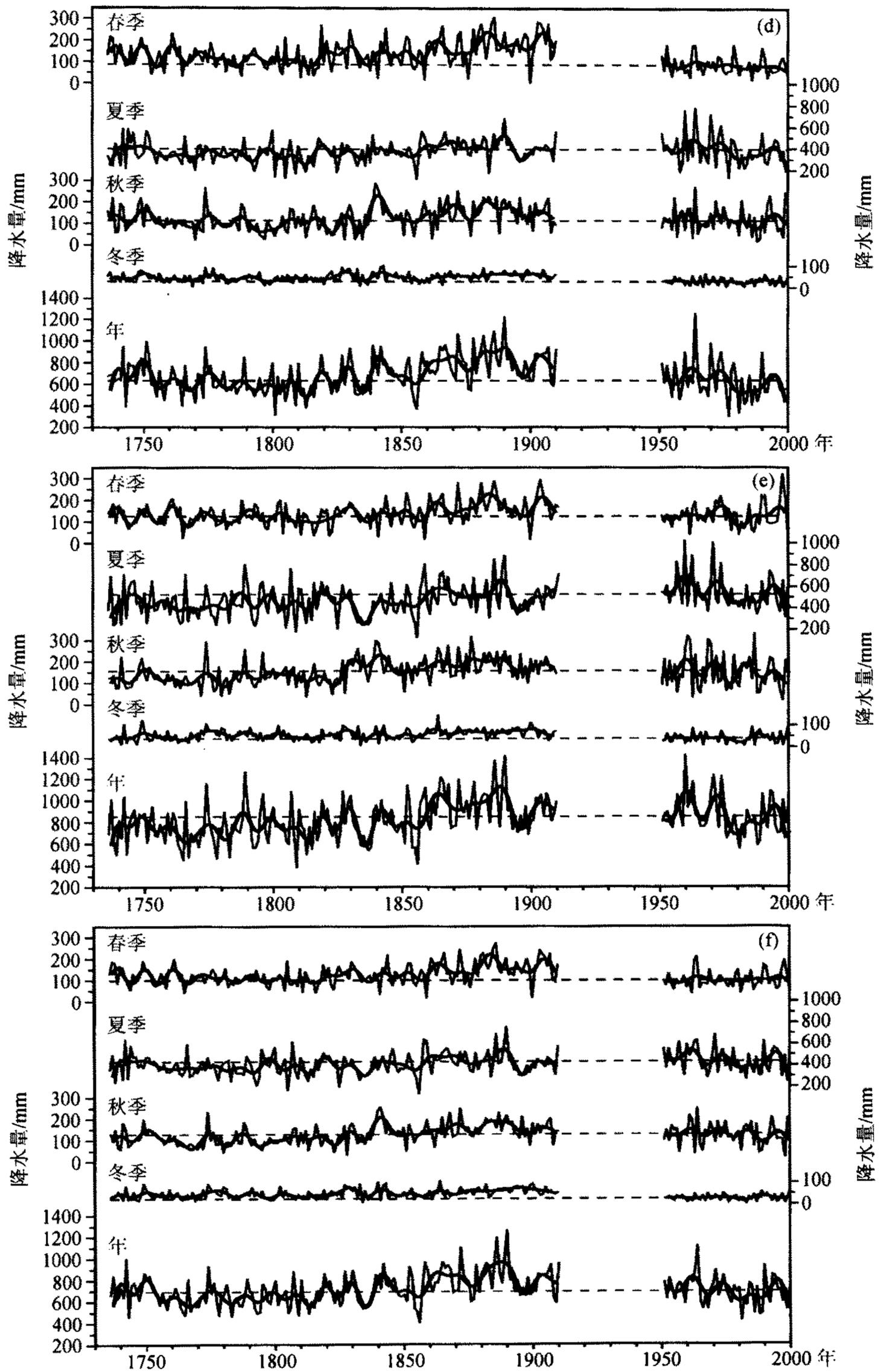


图7 (续)

表 3 山东各站历史时期冬季平均降水量与器测时期冬季平均降水量的差异 mm

	泰安	济南	菏泽	潍坊	临沂	5 站平均
历史时期	50.1	59.1	42.6	49.9	58.7	52.1
器测时期	23.0	22.7	27.4	30.8	39.5	28.7
差 值	27.1	36.4	15.2	19.1	19.2	23.4

测时期的冬季降水量大。以均值计算（表 3），济南站差值最大，达 36.4 mm，菏泽站最少也达 15.2 mm；5 站平均多约 80%。这是因为从历史记载看，山东历史时期的冬季降水较器测明显要高，即使是在一些雨雪少的冬季，其降雪量也与器测时期的冬季降水量均值相当。如 1784 年的冬季，在历史时期被评估为一个降雪少的干旱（“尚难乘时播种，民间望泽”）年份^①。然而，山东省该冬季的降水却相当于器测时期冬季降水量均值。因为山东省该冬季有 3 次降水过程：其中 1784 年 12 月 19 日为该冬的第 1 次降雪，但仅出现在山东东部地区，降雪量为 2~4 寸^②；1785 年 1 月 16~17 日出现第二次降雪，这次降雪遍及山东全省，降雪量为“一寸至五寸不等”，一般为 2~4 寸^③；第 3 次降雪出现在 1785 年 2 月 10~12 日，范围同样遍及全省，降雪量较上 2 次大，达“三四寸至八寸不等”^④，一般为 4~6 寸。计算可得该冬季各站的降水量分别为：泰安 16 mm，济南 36.1 mm，菏泽 17.6 mm，潍坊 41.6 mm，临沂 30.1 mm，5 站平均达 28.5 mm。又如 1754 年的冬季，根据记载恢复的各种降水量分别是：泰安 37.8 mm，济南 51.2 mm，菏泽 49.1 mm，潍坊 59.2 mm，临沂 79.7 mm，5 站平均达 55.4 mm，却只被评估为一个“虽俱得有雨雪，尚未能周遍沾足”的正常年份^⑤。

4.2 降水的长期变化特征

表 4 简要给出山东各站间的季节降水变化序列（样本长度 225 年，即 1736~1910 年及 1951~2000 年）相关分析与主成分分析结果，它表明山东各站间的季节降水变化具有较高的相关性和一致性。因而这里我们以这些站点的均值序列来代表整个山东省，并对其进行分析。

表 4 山东各站间的季节降水变化序列相关分析与主成分分析结果

	春季	夏季	秋季	冬季	年
各站间的相关系数*	0.596~0.812	0.282~0.601	0.494~0.785	0.557~0.765	0.470~0.703
第一主分量的方差贡献率/%	79.5	61.4	71.5	74.0	69.8

* 为节省篇幅，这里仅给出最小值（即相关性最差的 2 个站之间的序列相关系数）和最大值（即相关性最好的 2 个站之间的序列相关系数）

① 山东巡抚明兴乾隆五十年二月初十日（1785 年 3 月 20 日）奏折，中国第一历史档案馆，清代档案·硃批奏折档，包 243

② 山东巡抚明兴乾隆四十九年十一月十七日（1784 年 12 月 28 日）奏折，中国第一历史档案馆，清代档案·硃批奏折档，包 76

③ 山东巡抚明兴乾隆四十九年十二月初十日（1785 年 1 月 20 日）及十二月十五日（1785 年 1 月 25 日）奏折，中国第一历史档案馆，清代档案·硃批奏折档，包 76

④ 山东巡抚明兴乾隆五十年正月初四日（1785 年 2 月 12 日）及正月初六日（1785 年 2 月 14 日）奏折，中国第一历史档案馆，清代档案·硃批奏折档，包 244

⑤ 署理山东巡抚兼提督郭一裕乾隆二十年正月二十七日（1755 年 3 月 9 日）奏折，国立故宫博物院，宫中档乾隆朝奏折，卷 10，608 页

表5给出济南及山东省1736年以来各个年代的年降水距平百分率。其中1761~1770年、1781~1790年、1791~1800年、1801~1810年、1981~1990年等5个年代的降水明显偏少,1861~1870年、1871~1880年、1881~1890年、1901~1910年等4个年代则明显偏多。而1771~1780年及1991~2000年虽然济南的降水明显偏多,但山东全省平均的降水偏小,1951~1960年,虽然济南的降水明显偏小,但山东全省平均则略多。

此外,从表5及图7还可以明显地看出,1736年以来山东省的降水不但明显存在年际及年代际的变化,而且还存在更长时段的阶段性变化。其趋势是,自1736年经历了1个短暂的相对多雨期后,于18世纪中期起进入少雨期;19世纪中期转为多雨期,19世纪末至20世纪初开始,降水明显减少。其中济南的序列显示自20世纪初,降水再次进入少雨期,至20世纪60年代中期以后,再次降至最低水平。但自1990年降水又再次进入相对多雨期。表6给出根据最优分割法(以济南及山东省的年降水序列为依据)所划分的降水变化阶段。

表5 济南及山东省1736年以来各个年代的年降水距平百分率

年代	距平百分率/%		年代	距平百分率/%		年代	距平百分率/%	
	济南	山东省		济南	山东省		济南	山东省
1736~1740	5.2	-2.0	1821~1830	1.0	0.2	1911~1920	-15.0	
1741~1750	6.7	3.4	1831~1840	-6.3	-7.3	1921~1930	1.5	
1751~1760	1.6	-7.1	1841~1850	4.0	4.6	1931~1940	-6.7	
1761~1770	-17.1	-16.3	1851~1860	-0.9	0.7	1941~1950	-8.7	
1771~1780	21.2	-6.2	1861~1870	11.8	15.5	1951~1960	-12.6	0.5
1781~1790	-12.3	-9.9	1871~1880	13.6	11.5	1961~1970	0.2	3.5
1791~1800	-9.4	-10.1	1881~1890	27.0	34.2	1971~1980	0.4	0.6
1801~1810	-17.5	-9.9	1891~1900	6.8	3.0	1981~1990	-14.2	-12.4
1811~1820	-1.2	-9.9	1901~1910	10.2	13.3	1991~2000	13.0	-1.3

表6 山东省1736年以来的降水阶段性变化

济南					山东省				
起迄年份	降水特征	时段年降水			起迄年份	降水特征	时段年降水		
		均值/mm	方差/mm	距平/%			均值/mm	方差/mm	距平/%
1736~1782	偏多	692.4	150.9	3.4	1736~1753	偏多	729.4	123.3	2.3
1783~1815	少雨	575.4	104.6	-14.0	1754~1818	少雨	632.7	104.3	-11.3
1816~1857	偏少	665.7	115.0	-0.6	1819~1838	偏少	683.8	116.7	-4.1
1858~1907	多雨	771.3	119.0	15.2	1839~1857	偏多	719.9	142.8	0.9
1907~1964	偏少	638.9	185.7	-4.6	1858~1890	多雨	860.8	153.9	20.7
1965~1989	少雨	584.9	162.2	-12.6	1891~1910	偏多	771.6	107.0	8.2
1990~2000	多雨	754.0	151.0	12.6	1951~1964	偏多	769.4	133.9	7.9
					1965~1989	少雨	650.6	121.4	-8.8
					1990~2000	偏多	725.7	117.3	1.8

5 结论

通过上述研究，可以得到以下结论：

(1) 由于清代雨雪档案记载量化程度高，且具有较高的时间分辨率，因而从地表水量平衡的原理出发，根据土壤物理学模型，利用清代雨雪档案记载进行高分辨率的降水序列重建是完全可行的。本研究不但深入探讨了利用清代雨雪档案记载定量恢复降水量的方法，而且设计了一系列具体算法，并根据对现代资料和实验资料的分析结果选取有关参数，因此使得重建方法物理意义明确，重建过程更为客观。这不但使得所重建的序列更易于与国际相关研究接轨，而且在进一步利用清代档案记载进行大范围的高分辨率气候序列定量重建中也具有重要的推广价值。因此，它对于进一步开发利用中国历史文献资料进行全球变化研究具有非常重要的意义。

(2) 根据对上述重建序列的分析表明，山东各站间的季节降水变化具有较高的相关性和一致性。其变化趋势可概括为：18 世纪中前期，山东降水相对较多，18 世纪中期起进入少雨期，并降至过去 265 年的最低水平；19 世纪中后期转为多雨期，19 世纪末至 20 世纪初，降水明显减少。其中济南的序列显示自 20 世纪初起，降水再次进入相对少雨期，20 世纪 60 年代中期以后，再次降至较低水平。但自 1990 年起，重新进入相对多雨期。其中 1761~1770 年、1781~1790 年、1791~1800 年、1801~1810 年、1981~1990 年等 5 个年代的降水明显偏少，1861~1870 年、1871~1880 年、1881~1890 年、1901~1910 年等 4 个年代则明显偏多。

参 考 文 献

- 1 Eddy, J. A., Past Global Changes Project, Proposed Implementation Plans for Research Activities, Global Change Report No. 19, Sweden, Stockholm, IGBP, 1992, 1~112.
- 2 Duplessy, J. C., and J. Overpeck, The PAGES/CLIVAR INTERSECTION—Providing paleoclimatic perspective needed to understand climate variability and predictability, Coordinated research objectives of the IGBP and WCRP programs, Venice, Italy, 1994, 9.
- 3 Bradley, R. S., High Resolution Record of Past Climate from Monsoon Asia, The Last 2000 Years and Beyond, Recommendations for Research, PAGES Workshop Report, Series 93-1, 1993, 1~24.
- 4 国家自然科学基金委员会，全球变化：中国面临的机遇和挑战，北京：高等教育出版社，1998，61~75.
- 5 中央气象局气象科学研究所，中国近 500 年旱涝分布图集，北京：地图出版社，1981，332pp.
- 6 张丕远、王铮、刘晓雷等，中国近 2000 年气候演化的阶段性，中国科学 (B 辑)，1994，24 (9)，998~1008.
- 7 张瑾璐，清代档案中的气象资料，历史档案，1982 (2)，100~104.
- 8 葛全胜、张丕远，历史文献中气候信息的评价，地理学报，1990，45 (1)，24~29.
- 9 郑斯中，广东小冰期的气候及其影响，科学通报，1982，27 (5)，302~304.
- 10 郑景云、张丕远，周玉孚，利用旱涝县次建立历史时期旱涝指数序列的试验，地理研究，1991，12 (3)，1~9.
- 11 李兆元、吴素良、杨文峰等，西安地区旱涝气候的长期变化，气候与环境研究，1997，2 (4)，356~360.
- 12 林振杰、郑斯中，山东省各地区近 500 年分季旱涝指数，黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集 (第二集)，见吴祥定主编，北京：地质出版社，1991，64~106.
- 13 沈长泗、陈金敏、张志华等，采用树木年轮资料重建山东沂山地区 200 多年来的湿润指数，地理研究，1998，

- 17 (2), 150~156.
- 14 郑景云、郑斯中, 山东历史时期冷暖旱涝状况分析, 地理学报, 1993, 48 (4), 348~357.
- 15 雷志栋、杨诗秀、谢森传, 土壤水动力学, 北京: 清华大学出版社, 1988, 86~92.
- 16 左大康、刘昌明、李宝庆等, 华北平原水量平衡与南水北调研究文集, 北京: 科学出版社, 1985, 117~118.
- 17 谭冠日、严济远、朱瑞兆, 应用气候, 上海: 上海科学技术出版社, 1985, 128~134.

Seasonal Precipitation Reconstruction and Analysis in Shandong Province Derived from the Archives in the Qing Dynasty Since 1736

Zheng Jingyun, Hao Zhixin, and Ge Quansheng
(*Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract Based on snow and rainfall records derived from the archives in the Qing Dynasty (1644—1911AD), the agro-meteorological and meteorological instrumental, according to soil physics model of rainfall infiltration and the surface water balance equation, the approach for reconstructing precipitation quantificationally was developed. The seasonal precipitation were reconstructed in the five areas of Ji'nan, Tai'an, Weifang, Heze and Linyi in Shandong Province during the period of 1736—1910, and the seasonal precipitation series in 1936—2000 were reconstructed. The result shows that there exists high relationship among the change of seasonal precipitation for the five areas. At the decades of 1761—1770, 1781—1790, 1791—1800, 1801—1810, 1981—1990, the precipitation is lower obviously, but at the decades of 1861—1870, 1871—1880, 1881—1890, 1901—1910, the precipitation is higher. In Shandong Province, the trend of precipitation change can be concluded as follow: The precipitation is relative high before the middle of the 17th century. From the middle of 17th century, it became droughty. From the middle of the 19th century, it became wet again. From the end of the 19th century, the precipitation decrease obviously, the climate turned into relative droughty period again. The precipitation dropped to a lowest level in the 1960s. From the 1990, the precipitation begins to increase, the climate turns into relative rainy period again.

Key words: Shandong Province; snow and rainfall record in the Qing Dynasty; seasonal precipitation reconstruction and analysis